

ESCURREIMIENTO, SÓLIDOS TOTALES Y PROPIEDADES QUÍMICAS DEL AGUA DEL ARROYO DEL TALA (SAN PEDRO, BUENOS AIRES, ARGENTINA)

O.J. SANTANATOGLIA¹; ALICIA DE IORIO²; C.I. CHAGAS¹; M. MASSOBRIO¹; ALICIA RENDINA²;
M. CASTIGLIONI¹ y MARTA BARGIELA²

Recibido: 24/08/05

Aceptado: 27/04/06

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue analizar a lo largo de cuatro años la dinámica de algunas propiedades químicas del agua del Arroyo del Tala en diferentes sitios de muestreo representativos de la variabilidad de esta cuenca bajo uso principalmente agropecuario. El transporte anual de sedimentos resultó bajo comparado con otras cuencas del mundo, probablemente debido al escaso gradiente de las pendientes del área. A su vez el coeficiente de variación de las concentraciones entre fechas de muestreo, resultó muy elevado para el caso de los nitratos y fosfatos, lo cual indicaría el origen antrópico de los mismos. La calidad del agua resultó apta para bebida animal de ganado bovino durante el periodo analizado. Se midieron aumentos significativos en la concentración anual de sólidos totales, fosfatos, nitratos, cloruros, dureza y alcalinidad total, al considerar tres años sucesivos de muestreo. Este hecho se asoció con la variabilidad climática del período estudiado. El transporte anual de sólidos totales y sustancias químicas por unidad de superficie mostró una tendencia creciente hacia el tercio inferior de la cuenca, coincidente con mayores pendientes y un uso de la tierra más intensivo en ese sector de la cuenca.

Palabras clave. Cuenca, uso de la tierra, contaminación.

RUNOFF, TOTAL SOLIDS AND CHEMICAL PROPERTIES OF THE TALA RIVER WATER (SAN PEDRO, BUENOS AIRES, ARGENTINA)

SUMMARY

The aim of this investigation was to analyze during four years some chemical properties of the Tala stream water, in three representative sampling sites of this basin devoted mainly to agriculture activities. The annual transport of sediments was considered low, compared to other basins in the world probably because of the low gradients of the dominant slopes in the studied basin. The variation coefficient of the concentration between sampling dates, proved to be very high for nitrates and phosphates which can be associated with human activities. Water quality was considered adequate for animals, particularly bovine. Significant increase in the annual concentration of total dissolved solid, phosphate, nitrate, chloride, hardness and total alkalinity was measured during three consecutive years of water sampling. This fact was associated with the climatic variability of the studied period. The mean annual transport of total solids and chemical substances per square kilometer, showed an increasing tendency towards the lower end of the basin, in accordance the presence of higher slope gradients and more intensive land use in that part of the basin.

Key words. Basin, land use, contamination.

INTRODUCCIÓN

Según la agencia para la protección ambiental de EE.UU. (USEPA, 1990), las actividades agrícolas son responsables de más del 60% de la contaminación superficial del agua. El conocimiento de las ca-

racterísticas físico-ambientales de las cuencas donde estos procesos se desencadenan, así como el análisis del comportamiento hidrológico de las mismas permitiría la predicción de sus capacidades de exportación de contaminantes, y de esta manera

¹Cátedra de Manejo y Conservación de Suelos. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Av San Martín 4453 (1417) Buenos Aires, Argentina. E-Mail: chagas@agro.uba.ar

²Cátedra de Química Analítica de la misma Facultad.

se podrían diseñar estrategias de mitigación. En el área del Arroyo del Tala, se vienen realizando trabajos de investigación con el fin de estudiar algunos aspectos del comportamiento hidrológico, calidad de agua y procesos de degradación de las tierras en dicha cuenca con distintas escalas de percepción (Chagas *et al.*, 2003; Bujan *et al.*, 2003).

El objetivo de este trabajo fue analizar a lo largo de cuatro años el comportamiento de los sólidos totales y de algunas propiedades químicas del agua del Arroyo del Tala en relación a diferentes sitios de muestreo de la cuenca durante los períodos de estiaje.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área

La cuenca del Arroyo del Tala posee una superficie aproximada de 865 km² y se encuentra ubicada en el sector NE de la provincia de Buenos Aires, a 160 km de la Capital Federal, en la región Pampa Ondulada (Cappannini y Dominguez, 1961). Ocupa parcialmente los partidos de San Pedro, Ramallo, Bartolomé Mitre y Pergamino. Sus aguas desaguan en el río Baradero, afluente del Paraná.

De acuerdo con la clasificación de Köpen, el clima del área es templado húmedo. La precipitación anual media, registrada por el INTA San Pedro durante el período 1965-1997, fue de 1.070 mm, concentrada principalmente en primavera, verano y otoño.

La forma de la cuenca es rectangular, con ensanchamiento en sus extremos. El cauce principal posee una longitud de 71 km. Algunos parámetros morfométricos de la misma se citan a continuación (CFI, 1972): factor de forma: 1,41; pendiente media (m km⁻¹): 2,47; coeficiente de compacidad 1,46; pendiente del cauce principal (m km⁻¹): 0,93; frecuencia de cauces (c km⁻²): 0,018; densidad de drenaje (km km⁻²): 0,189; extensión del flujo superficial (km² km⁻¹): 2,63.

Para los estudios realizados se consideró dentro de la cuenca total del Arroyo del Tala (865 km²) una subcuenca que ocupa una superficie de 604 km² que en adelante se denominará cuenca.

Durante cuatro años se tomaron muestras bimensuales del agua del arroyo en tres puntos ubicados en el tercio superior, medio e inferior de la cuenca, respectivamente. El tercio superior comprende una superficie de 390 km² (calculada hasta el puente del camino a Santa Lucía) y se caracteriza por poseer áreas cóncavas con drenaje pobre, encauzándose los escurrimientos a través de zanjones y zanjas hacia el cauce principal del arroyo del Tala. El tercio medio de la cuenca comprende una superficie parcial de 116 km² y acumulada de 506 km² respectivamente,

hasta el puente empleado como sitio de muestreo. Esta área se caracteriza por poseer sectores en pendiente con gradientes entre 1 y 2%. Los suelos corresponden a fases por erosión de Argiudoles vérticos y típicos (INTA, 1973). El uso de la tierra es principalmente agrícola-ganadero. A su vez, existen áreas con pendientes menores al 1% ocupadas principalmente por suelos Natracualfes afectados por distinto grado de erosión hídrica. Dichas áreas bajo uso ganadero corresponden al plano aluvial del arroyo del Tala.

El tercio inferior comprende una superficie parcial de 98 km² y acumulada de 604 km² respectivamente, hasta el sitio de muestreo (puente sobre ruta 191), continuando este sector aguas abajo de dicho punto. Esta área se caracteriza por poseer pendientes máximas superiores a las del sitio anterior (2 a 3% de gradiente). Los suelos corresponden a fases erosionadas de Argiudoles típicos. El uso de la tierra es agrícola extensivo y también fruti-hortícola.

El agua del arroyo constituye un recurso importante para la bebida animal, habida cuenta que los lotes bajos, de uso ganadero, se hallan ubicados linderos al arroyo en casi todo el recorrido del cauce del mismo

Análisis del agua

Las determinaciones en las muestras de agua fueron las siguientes: contenido de sólidos totales a través del residuo seco, porcentaje de sólidos disueltos mediante el filtrado de las aguas a través de membrana de 0,45 μm y evaporación a 180 °C, contenido de nitrato (reducción a nitrito y colorimetría con sulfanilamida y N-(1-naftil)etilendiamina, fosfatos (colorimetría con ácido sulfomolibdico), cloruros (volumetría de precipitación con AgNO₃), potasio y sodio (fotometría de llama), dureza (volumetría complejométrica con EDTA) y alcalinidad total (determinación volumétrica con carbonato y carbonato ácido por neutralización con HCl). Todas las determinaciones se realizaron de acuerdo a métodos estandarizados (APHA, 1992, 1998).

Estrategia de muestreo de aguas, toma de datos hidrológicos y expresión de resultados

La estrategia de muestreo consistió en realizar una o más tomas de muestra de agua en los tercios superior, medio e inferior de la cuenca del Tala, en las cuatro estaciones del año durante cuatro años.

En el total del período estudiado se realizaron 24 muestreos por cada uno de los tercios de la cuenca. En cada muestreo se estimó el caudal del arroyo a través de efectuar mediciones de ancho y profundidad del cauce y estimaciones de la velocidad media del escurrimiento.

Las precipitaciones (Figura 1) se midieron en forma continua mediante un pluviógrafo automático, situado en el tercio medio de la cuenca y se controlaron con otro aparato similar situado en la divisoria norte de aguas del tercio inferior de la cuenca.

Las propiedades del agua del arroyo se expresaron en forma de mg L^{-1} (Cuadro 1).

El transporte anual en las aguas del Arroyo del Tala, de sólidos totales y sustancias químicas en los tercios superior, medio e inferior de la cuenca (Cuadro 2) se calculó de la siguiente manera:

- se calculó el aporte anual acumulativo de cada tercio de la cuenca. Para ello se multiplicó el volumen de esguerrimiento anual por la concentración del elemento a estudiar en cada tercio,
- dicho valor se restó del valor acumulado obtenido para el/los tercios ubicados aguas arriba, lográndose así el aporte parcial del tercio considerado,
- este último valor se dividió por la superficie parcial del tercio considerado expresándose el resultado en $\text{t km}^{-2} \text{ año}^{-1}$.

Además, se calculó el aporte total anual a nivel de la cuenca y por unidad de superficie. Para el primero se consideró el esguerrimiento anual en el punto extremo de análisis de la cuenca: el sitio de muestreo del tercio inferior, expresándose el resultado como t año^{-1} . Para obtener el segundo valor, se dividió el anterior por la superficie la cuenca en dicho punto (604 km^2) expresándose el resultado en $\text{t km}^{-2} \text{ año}^{-1}$.

Análisis estadístico

Se realizaron análisis de varianza con el fin de comparar entre sí las medias de las propiedades estudiadas entre los sitios de muestreo, las estaciones del año y los años de muestreo.

RESULTADOS

En el Cuadro 1 se observan las medias y coeficiente de variación del caudal, residuo seco y propiedades químicas del agua del arroyo.

Los caudales se incrementaron significativamente ($p < 0,05$) al considerar superficies de esguerrimiento crecientes. La superficie de la cuenca entre el tercio superior y el medio aumentó un 30% mientras que el caudal se incrementó un 78%. Del tercio medio al inferior, el incremento de superficie fue de 19% mientras que el caudal creció 98%. El coeficiente de variación del caudal osciló entre 45% para el tercio medio y 37% para el inferior, cifras que resultan de menor magnitud que la variabilidad correspondiente a la lluvia (81%).

Los sólidos totales del esguerrimiento corresponden en su totalidad a sólidos disueltos ya que el tamaño de las partículas de los sedimentos fue menor que $0,45 \mu\text{m}$. Se observó un ligero pero significativo

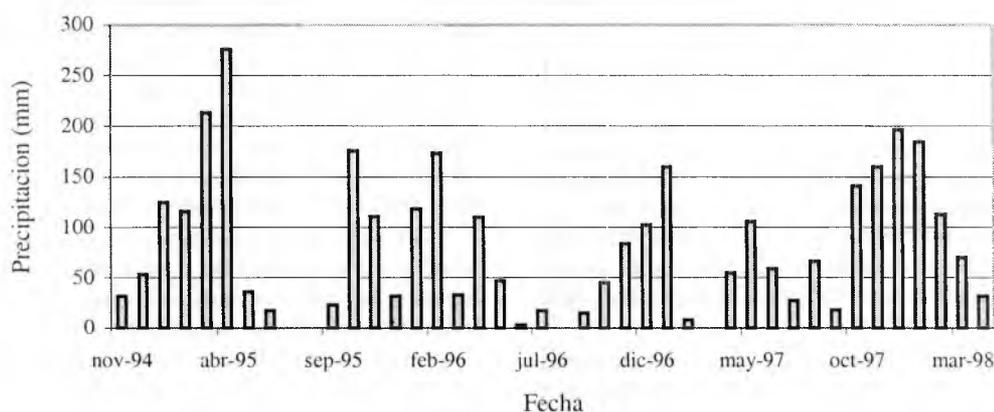


FIGURA 1. Precipitaciones mensuales en la cuenca del arroyo del Tala.

CUADRO 1. Valores medios y coeficientes de variación, del caudal, sólidos totales y propiedades químicas del agua del Arroyo del Tala, en los tercios superior, medio e inferior de la cuenca.

Determinación	Tercio superior	Tercio medio	Tercio inferior
Caudal (m ³ seg ⁻¹)	0,227 (44) a	0,405 (45) b	0,800 (37) c
Sólidos totales (mg L ⁻¹)	750 (9) a	717 (10) a	671 (7) b
N-Nitratos (mg N L ⁻¹)	7,8 (149) a	8,9 (105) a	7,1 (80) a
P-Fosfatos (mg P L ⁻¹)	0,91 (62) a	0,63 (74) ab	0,48 (97) b
Cloruros (mg L ⁻¹)	40,7 (31) a	40,6 (12) a	33,2 (17) b
Potasio (mg K ⁺ L ⁻¹)	17,2 (13) a	15,2 (10) a	14,9 (7) a
Sodio (mg Na ⁺ L ⁻¹)	184,3 (21) a	158,3 (19) b	151,5 (10) b
Dureza (mg CO ₃ Ca L ⁻¹)	148,6 (40) a	166,2 (34) a	154,4 (20) a
Alcalinidad total (mg CO ₃ Ca L ⁻¹)	542,3 (21) a	473,7 (22) ab	444,4 (12) b

Medias seguidas por la misma letra no difieren estadísticamente ($P > 0,05$).

decrecimiento ($p < 0,05$) en dicha concentración hacia el tercio inferior de la cuenca. El coeficiente de variación de las muestras resultó muy reducido en esta propiedad, oscilando entre 9,8% en el tercio medio y 7% en el tercio inferior.

Entre las propiedades químicas analizadas, la mayor diferencia entre sitios de muestreo se registró en la concentración de fosfatos. La misma se redujo un 31% al pasar de tercio superior al medio y sufrió una reducción adicional del 24% al pasar del tercio medio al inferior indicando un posible efecto de dilución debido al gran incremento del caudal que se produce en dirección aguas abajo de la cuenca. Estas diferencias fueron estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

El resto de las concentraciones de los elementos medidos se redujo ligeramente al considerar superficies de escurrimiento crecientes (alcalinidad, potasio, sodio, cloruros), o no mostraron un patrón definido (nitratos, dureza).

El coeficiente de variación de las propiedades químicas resultó muy elevado para el caso de los nitratos y fosfatos. A su vez, la dureza, cloruros, alcalinidad total y sodio, presentaron una variabilidad intermedia. El potasio fue el elemento con menor variabilidad en su concentración. El sitio de muestreo donde el coeficiente de variación de las propiedades químicas fue mayor, se ubicó en el tercio superior de la cuenca. Es de destacar que el comportamiento de los fosfatos resultó a diferencia del resto, con mayor variabilidad en el tercio inferior.

Los Cuadros 2, 3 y 4 muestran la variación estacional que presentaron las propiedades del agua durante el período bajo estudio. Se observaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre estaciones, en algunas propiedades tales como la concentración de sólidos, contenido de nitratos y dureza. La tendencia general observada para el caso de los fosfatos, nitratos y dureza, indica que se registraron menores concentraciones en verano en

CUADRO 2. Valores medios estacionales y coeficientes de variación (%) de sólidos totales y propiedades químicas del agua del Arroyo del Tala, correspondientes a los muestreos del tercio superior de la cuenca.

Propiedad	Época del año			
	Verano	Otoño	Invierno	Primavera
Sólidos totales (mg L ⁻¹)	770 (4) a	770 (6) a	760 (5) a	700 (16) b
N-Nitratos (mg N L ⁻¹)	3,3 (35) a	7,8 (42) ab	12,8 (74) b	7,7 (77) ab
P-Fosfatos (mg P L ⁻¹)	0,69 (105) a	0,90 (62) a	1,14 (50) a	0,93 (54) a
Cloruros (mg L ⁻¹)	39,9 (22) a	44,4 (24) a	39,6 (25) a	39,3 (24) a
Potasio (mg K ⁺ L ⁻¹)	17,4 (7) a	17,1 (15) a	16,9 (6) a	17,1 (9) a
Sodio (mg Na ⁺ L ⁻¹)	182,5 (28) a	176,1 (7) a	193,6 (12) a	176,7 (9) a
Dureza (mg CO ₃ Ca L ⁻¹)	110,8 (38) a	159,9 (27) a	169,8 (48) a	157,9 (35) a
Alcalinidad total (mg CO ₃ Ca L ⁻¹)	541,2 (27) a	546,7 (19) a	541,1 (2) a	540,9 (27) a

Medias seguidas por la misma letra no difieren estadísticamente (P>0,05).

CUADRO 3. Valores medios estacionales y coeficientes de variación (%) de sólidos totales y propiedades químicas del agua del Arroyo del Tala, correspondientes a los muestreos del tercio medio de la cuenca.

Propiedad	Época del año			
	Verano	Otoño	Invierno	Primavera
Sólidos totales (mg L ⁻¹)	765 (8) a	716 (6) ab	705 (8) b	700 (14) b
N-Nitratos (mg N L ⁻¹)	4,4 (87) a	8,9 (73) a	17,0 (91) a	7,2 (104) a
P-Fosfatos (mg P L ⁻¹)	0,38 (103) a	0,62 (60) a	0,79 (55) a	0,74 (78) a
Cloruros (mg L ⁻¹)	42,2 (4) a	39,9 (11) a	39,3 (6) a	40,7 (20) a
Potasio (mg K ⁺ L ⁻¹)	16,4 (9) a	15,1 (13) a	14,5 (8) a	14,9 (7) a
Sodio (mg Na ⁺ L ⁻¹)	159,5 (31) a	149 (19) a	170,2 (11) a	155,4 (11) a
Dureza (mg CO ₃ Ca L ⁻¹)	128 (25) a	155 (26) ab	224 (38) b	166 (21) ab
Alcalinidad total (mg CO ₃ Ca L ⁻¹)	472,5 (36) a	451 (24) a	483 (16) a	484 (11) a

Medias seguidas por la misma letra no difieren estadísticamente (P>0,05).

CUADRO 4. Valores medios estacionales y coeficientes de variación (%) de sólidos totales y propiedades químicas del agua del Arroyo del Tala, correspondientes a los muestreos del tercio inferior de la cuenca.

Propiedad	Época del año			
	Verano	Otoño	Invierno	Primavera
Sólidos totales (mg L ⁻¹)	670 (5) a	656 (10) a	710 (5) a	661 (8) a
N-Nitratos (mg N L ⁻¹)	2,6 (66) a	6,7 (74) abc	14,2 (49) c	5,5 (38) b
P-Fosfatos (mg P L ⁻¹)	0,28 (88) a	0,67 (49) a	0,42 (84) a	0,47 (197) a
Cloruros (mg L ⁻¹)	34,1 (3) a	33,7 (22) a	34,8 (12) a	29,2 (23) a
Potasio (mg K ⁺ L ⁻¹)	14,7 (4) a	15 (8) a	15,1 (10) a	14,5 (7) a
Sodio (mg Na ⁺ L ⁻¹)	156,4 (3) a	158 (23) a	158,1 (2) a	141,8 (15) a
Dureza (mg CO ₃ Ca L ⁻¹)	144 (17) a	162 (21) a	160 (23) a	142 (16) a
Alcalinidad total (mg CO ₃ Ca L ⁻¹)	452 (12) a	456 (36) a	412 (19) a	442,5 (10) a

Medias seguidas por la misma letra no difieren estadísticamente (P>0,05).

comparación con las restantes estaciones del año, en los tres sectores de la cuenca. Para el caso de la concentración de sólidos, la tendencia observada fue opuesta ya que las mayores concentraciones se produjeron en verano. Las restantes propiedades estudiadas no mostraron una tendencia definida.

Los Cuadros 5, 6 y 7 muestran la variación interanual en las propiedades del agua del arroyo, al comparar entre sí los muestreos realizados en las cuatro estaciones del año, tal como ocurrió en 1995, 1996 y 1997. En dichos cuadros se aprecia que existieron aumentos significativos en la concentración de sólidos totales, fosfatos, nitratos, cloruros, dureza y alcalinidad total en los tres tercios considerados, aunque con menor énfasis en el tercio inferior, al considerar los sucesivos años de muestreo.

De la observación del Cuadro 8, surge que el transporte anual de sólidos totales y sustancias químicas por unidad de superficie, mostró una tendencia creciente hacia la salida de la cuenca, siendo máximo el transporte en el tercio inferior. El orden de

incremento no resultó equivalente para todos los elementos considerados. Es así como la dureza evidenció el mayor incremento: 558%, mientras que el contenido de fosfatos presentó el menor aumento: 141%. Las restantes propiedades se comportaron con un crecimiento intermedio, correspondiéndole al potasio, sólidos totales, sodio y alcalinidad total, un incremento de alrededor de 475% mientras que a los nitratos y cloruros les correspondió un incremento medio de 330%.

DISCUSIÓN

El período analizado se caracterizó por la alternancia de épocas húmedas y secas (Figura 1). Las primeras correspondieron principalmente a las estaciones de primavera, verano y otoño, mientras que las últimas correspondieron al invierno. Durante los muestreos, las lluvias mensuales presentaron un valor medio de 77,5 mm con un coeficiente de varia-

CUADRO 5. Valores medios anuales y coeficientes de variación (%) de sólidos totales y propiedades químicas del agua del Arroyo del Tala, correspondientes a los muestreos del tercio superior de la cuenca.

Propiedad	Año		
	1995	1996	1997
Sólidos totales (mg L ⁻¹)	687 (16) a	782 (4) b	753 (7) ab
N-Nitratos (mg N L ⁻¹)	4,6 (51) a	6,8 (89) ab	12,8 (65) b
P-Fosfatos (mg P L ⁻¹)	0,50 (42) a	0,85 (72) ab	1,17 (49) b
Cloruros (mg L ⁻¹)	34,1 (12) a	36,4 (9) a	49,5 (21) b
Potasio (mg K ⁺ L ⁻¹)	17,3 (1) a	17 (9) a	17,1 (15) a
Sodio (mg Na ⁺ L ⁻¹)	183,8 (16) a	183 (4) a	167,7 (15) a
Dureza (mg CO ₃ Ca L ⁻¹)	118,1 (20) a	128,3 (39) a	210,8 (27) b
Alcalinidad total (mg CO ₃ Ca L ⁻¹)	499,9 (10) a	516,8 (10) a	600,8 (30) a

Medias seguidas por la misma letra no difieren estadísticamente (P>0,05).

CUADRO 6. Valores medios anuales y coeficientes de variación (%) de sólidos totales y propiedades químicas del agua del Arroyo del Tala, correspondientes a los muestreos del tercio medio de la cuenca.

Propiedad	Año		
	1995	1996	1997
Sólidos totales (mg L ⁻¹)	653 (8) a	748 (7) b	736 (9) b
N-Nitratos (mg N L ⁻¹)	2,75 (82) a	7,6 (91) ab	17,8 (73) b
P-Fosfatos (mg P L ⁻¹)	0,26 (34) a	0,73 (70) b	0,78 (55) b
Cloruros (mg L ⁻¹)	37,3 (14) a	41,8 (8) a	41,4 (16) a
Potasio (mg K ⁺ L ⁻¹)	14,7 (1) a	14,6 (8) a	15,9 (11) a
Sodio (mg Na ⁺ L ⁻¹)	157,2 (16) a	157,7 (3) a	148 (25) a
Dureza (mg CO ₃ Ca L ⁻¹)	150 (29) a	165 (25) ab	195 (46) b
Alcalinidad total (mg CO ₃ Ca L ⁻¹)	459,2 (15) a	454,4 (17) a	465 (24) a

Medias seguidas por la misma letra no difieren estadísticamente (P>0,05).

CUADRO 7. Valores medios anuales y coeficientes de variación (%) de sólidos totales y propiedades químicas del agua del Arroyo del Tala, correspondientes a los muestreos del tercio inferior de la cuenca.

Propiedad	Año		
	1995	1996	1997
Sólidos totales (mg L ⁻¹)	654 (10) a	693 (6) a	663 (6) a
N-Nitratos (mg N L ⁻¹)	4,8 (64) a	5,5 (102) a	9,7 (71) a
P-Fosfatos (mg P L ⁻¹)	0,27 (42) a	0,45 (107) ab	0,73 (46) b
Cloruros (mg L ⁻¹)	29,2 (21) a	36,1 (7) b	32 (22) ab
Potasio (mg K ⁺ L ⁻¹)	14,3 (5) a	15 (6) a	15,1 (9) a
Sodio (mg Na ⁺ L ⁻¹)	146,5 (13) a	155,8 (2) a	146 (17) a
Dureza (mg CO ₃ Ca L ⁻¹)	135,7 (16) a	153,8 (13) a	168,3 (25) a
Alcalinidad total (mg CO ₃ Ca L ⁻¹)	364,3 (17) a	461,3 (7) b	455,8 (11) b

Medias seguidas por la misma letra no difieren estadísticamente (P>0,05).

CUADRO 8. Transporte medio a través de las aguas del Arroyo del Tala, de sólidos totales y sustancias químicas medidos en los tercios: superior, medio e inferior de la cuenca. (A)= Aporte parcial de cada tercio de la cuenca, expresado por unidad de superficie de dicho tercio (t km⁻² año⁻¹); (B)= Aporte total de la cuenca por unidad de superficie (t km⁻² año⁻¹) y (C)= Aporte total de la cuenca (t año⁻¹). Los valores de (B) y (C) corresponden al total de la superficie de la cuenca hasta el punto de muestreo del tercio inferior (604 km²).

Determinación	(A) Tercio superior (t km ⁻² año ⁻¹)	(A) Tercio medio (t km ⁻² año ⁻¹)	(A) Tercio inferior (t km ⁻² año ⁻¹)	(B) Total U./ Sup. (t km ⁻² año ⁻¹)	(C) Total Cuenca (t año ⁻¹)
Sólidos Totales	13,78	32,67	78,78	28,02	1.6928,5
N-Nitratos	0,44	0,505	0,64	0,295	178,3
P-Fosfatos	0,017	0,013	0,041	0,020	12,1
Cloruros	0,75	1,96	3,23	1,39	837,6
Potasio	0,32	0,61	1,84	0,62	375,9
Sodio	3,39	6,06	18,25	6,33	3.822,2
Dureza	2,73	9,13	17,97	6,45	3.895,3
Alcalinidad total	9,96	18,7	52,33	18,55	11.211,68

ción de 81%. El período analizado fue representativo de la variabilidad temporal del clima en esta región, ya que coincidió con años Niño, Niña y Neutro correspondientes al fenómeno climático ENSO (Eduardo Sierra, comunicación personal).

El análisis del caudal hídrico interanual correspondiente al tercio inferior de la cuenca (datos no incluidos en los cuadros) mostró que durante 1995 la media fue de $1,13 \text{ m}^3 \text{ seg}^{-1}$ con un coeficiente de variación del 10%; durante el año 1996 la media fue de $0,87 \text{ m}^3 \text{ seg}^{-1}$ con un coeficiente de variación de 3% mientras que durante el año 1997 la media alcanzó $0,75 \text{ m}^3 \text{ seg}^{-1}$ con un coeficiente de variación de 7%. Dicho análisis indica que el año 1995 presentó un valor estadísticamente superior al observado durante 1996 y a su vez, ambos resultaron estadísticamente superiores al del año 1997 ($p < 0,05$). Igual tendencia fue posible observar en el tercio superior y el tercio medio de la cuenca.

Esta tendencia declinante podría estar asociada con las lluvias anuales registradas durante dichos años: 1995=1.125mm, 1996=729mm y 1997=997mm. Debe tenerse en cuenta que el año 1997 presentó escasas precipitaciones hasta fin de noviembre, en tanto que los muestreos de agua de ese año se efectuaron con anterioridad a dicho período. De acuerdo con INTA San Pedro, la media de la lluvia anual del período 1965-1997 (32 años) fue de 1.070mm, por lo tanto 1997 fue más lluvioso que la media mientras que 1996 y 1997 resultaron menos lluviosos que el promedio.

Tal como se mencionara con anterioridad, varias de las propiedades estudiadas sufrieron un aumento significativo en la concentración para los muestreos sucesivos de 1995, 1996 y 1997 respectivamente (Cuadros 5, 6 y 7). Estos resultados estarían mostrando una estrecha relación entre las propiedades del agua del arroyo en los tres sectores bajo estudio y la reducción registrada en el caudal interanual, este último asociado a la variabilidad climática registrada en esos años.

La variación interanual de las propiedades del agua del arroyo resultó aún más importante que la variación estacional de las mismas ya que se observaron mayores casos de diferencias significativas en los análisis estadísticos de los Cuadros 5, 6 y 7 que en los Cuadros 2, 3 y 4. Estos resultados podrían ser empleados en el futuro para establecer criterios que permitan predecir la calidad del agua para de-

terminados usos ante diferentes escenarios climáticos.

Debe tenerse en cuenta que las propiedades analizadas corresponden principalmente al período de estiaje del arroyo dado que los muestreos se hicieron en forma manual y no automática. Investigaciones llevadas a cabo en la cuenca del Tala muestran que, de los eventos de lluvia ocurridos durante el período analizado, tan solo el 14% provocó escurrimientos significativos (Chagas *et al.*, 2003). Este hecho permitiría considerar a la estimación de caudales del Cuadro 1, como representativa del comportamiento del arroyo durante la mayor parte del período estudiado.

Con respecto a los elementos químicos medidos en el agua de escurrimiento, se pudo observar lo siguiente: la concentración de potasio en el agua presentó una variabilidad temporal muy reducida, comparable con la que se midió en los sedimentos. Este hecho reafirmaría la presunción que el potasio presente en el escurrimiento se encuentra principalmente ligado a los sedimentos acarreados por el agua.

Las concentraciones de N y P fueron las que presentaron la variabilidad temporal mas elevada en comparación con el resto de las propiedades analizadas. Dicha variabilidad de ambos elementos estaría reflejando en gran medida la influencia del uso antrópico sobre las propiedades del agua de escurrimiento en la cuenca bajo estudio.

Para las variables evaluadas, la calidad del agua del arroyo analizada para las diferentes fechas de muestreo, se hallaba dentro del límite considerado apto para consumo animal bovino (Herrero, 1999). Esta conclusión resulta destacable debido a que las aguas del arroyo son empleadas para bebida animal directa, por los vacunos y equinos que pastorean las tierras del plano aluvial del Tala. No se puede afirmar que el agua sea apropiada para bebida animal bajo situaciones de crecida del arroyo, ya que se carece de datos para dichos eventos. Tampoco se han medido otras propiedades del agua (ejemplo contaminación biológica, presencia de pesticidas) que podrían resultar importantes para establecer la calidad del agua para distintos usos.

Con relación a la cantidad de sólidos movilizados por unidad de superficie y por año (Cuadro 8), su comparación con otros datos similares del mundo indica que la salida total de sedimentos de la cuenca del Tala sería de una magnitud escasa a in-

termedia. Esto se desprende de considerar que algunos ríos de Polonia y Australia presentan valores de tan solo $1-2 \text{ t km}^{-2} \text{ año}^{-1}$, mientras que existen ríos en China, que fluyen sobre terrenos altamente erosionables y que transportan varios miles de toneladas por kilómetro cuadrado (Walling, 1994).

Al calcular las pérdidas de suelo por el método de ^{137}Cs en un sitio representativo del tercio medio del arroyo del Tala, se obtuvieron elevados valores de erosión que oscilaron entre $11,5$ y 36 t ha año^{-1} (Buján *et al.*, 2003). Comparando entre sí la erosión moderadamente elevada medida en las vertientes de esta cuenca y el transporte de sedimentos tan reducido que se registró en el río, surge que la tasa de salida de sedimentos transportados (sediment delivery ratio) resultaría extremadamente baja para el arroyo del Tala en relación a otros ríos del mundo (Walling, 1994). Este hecho marcaría la conveniencia de incluir en los futuros muestreos, las grandes pero infrecuentes crecidas que se producen en las cuencas de esta región.

Sin embargo es probable que los bajos valores de transporte anual registrados en este trabajo se deban principalmente a la importante sedimentación que se produciría en numerosos sitios de la cuenca, debido a la baja pendiente general del área.

Cabe destacar que a pesar la escasa cantidad de sedimentos transportados en el arroyo del Tala, su potencialidad para acarrear contaminantes sería muy marcada, habida cuenta que se trata de material fino, menor a $0,45 \mu\text{m}$, y por ende con gran superficie específica.

Tal como se mencionara anteriormente, se observó un importante aumento en el transporte de elementos físicos y sustancias químicas, expresados en $\text{t km}^{-2} \text{ año}^{-1}$ en el tercio inferior, respecto del tercio medio y el superior de la cuenca bajo estudio (Cuadro 8). Este hecho se podría atribuir al uso de la tierra en dicho sector de la cuenca caracterizado por la presencia de establecimientos frutihortícolas,

granjas avícolas y de cría intensiva de porcinos, lo que involucra un aumento en el empleo de insumos, mayor concentración de habitantes, mayor red caminera, etc., todas estas situaciones potenciadas por una mayor energía del sistema geomorfológico en dicha sección asociados a las mayores pendientes regionales de este sector.

Como síntesis de los análisis realizados surge que la variabilidad climática, las características geomórficas de la cuenca y el uso de la tierra, explicarían en gran medida la dinámica de la concentración y la descarga total de algunos de los elementos estudiados. Estos supuestos se ven reforzados al considerar la mayor intensidad del uso y mayores pendientes que existen en el tercio inferior de la cuenca respecto de los restantes sectores de la misma.

CONCLUSIONES

Se observó una asociación entre la variabilidad climática interanual, el caudal hídrico de la cuenca y la dinámica temporal de algunas propiedades químicas del agua del arroyo, tales como la concentración media anual de sólidos totales, nitratos, fosfatos, cloruros, dureza y alcalinidad total.

Las características geomórficas y de uso de la tierra incidieron para que se registraran transportes crecientes de todos los elementos estudiados hacia el tramo inferior de la cuenca, caracterizado por la elevada pendiente de sus vertientes y el uso de la tierra agropecuario más intensivo en comparación con la cuenca alta y la cuenca media.

Estos resultados podrán emplearse en el futuro, para desarrollar criterios de predicción de la calidad del agua ante diversos escenarios climáticos, geomórficos y de uso de la tierra en la cuenca bajo estudio y en otras cuencas similares de la Pampa Ondulada.

BIBLIOGRAFÍA

- APHA: AWWA y WPCF. 1992. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Editorial Díaz de Santoz SA, Madrid España, 816 pp.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION y WATER ENVIRONMENT FEDERATION. 1998. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20th ed. American Public Health Association, Washington D.C. 450 p.

- BUJAN, A.; O.J. SANTANATOGLIA; C.I. CHAGAS; M. MASSOBRIO; M. CASTIGLIONI; M. YAÑEZ; H. CIALLELLA and J. FERNADEZ. 2003. Soil erosion evaluation in a small basin through the use of ^{137}Cs technique. *Soil and Tillage Research* 69 (1-2):127-137.
- CAPPANNINI, D. y O. DOMINGUEZ. 1961. Los principales ambientes geoedafológicos de la Provincia de Buenos Aires. *IDIA (INTA)* 163:33-39.
- CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES. 1972. Contribución al conocimiento geohidrológico de la Cuenca del Arroyo del Tala. Estudio de Aguas de Aguas Subterráneas del N-E de la Provincia de Buenos Aires, Argentina. 22 pp.
- CHAGAS, C.I.; O.J. SANTANATOGLIA; M.J. MASSOBRIO; M.G. CASTIGLIONI; A. BUJÁN y C. IRURTIA. 2003. Escorrentamiento estacional en una microcuenca de llanura en función de factores asociados al clima y a las labranzas. Trabajo completo publicado en CD VII Congreso Argentino de Ingeniería Rural, CADIR 2003. Balcarce, 7 al 9 de mayo de 2003.
- HERRERO, A. 1999. Calidad de agua para usos ganaderos. Taller sobre normas de calidad de aguas para distintos usos en el MERCOSUR, Rosario, Argentina, 9 y 10 de setiembre de 1999.
- INTA 1973. Carta de Suelos de la República Argentina. Hoja 3360-33. Pérez Millán, E 1:50.000 45 p.
- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 1990. National Water Quality Inventory, 1988. USEPA Rep. 440/5-90/003. Rep. to Congress. Washington, D.C.: Office of Water
- WALLING, D.E. 1994. Measuring sediment yield from river basins. *In*: R. Lal (Ed.) Soil Erosion Research Methods. Soil and Water Cons. Soc. Ankeny, Iowa. p 39-80.